

УДК 631.879: 631.45: 631.95
https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/10

*Утомбаева А.А., Кузнецова Т.В., Вершинин А.А.,
Зайнулгабидинов Э.Р., Петров А.М.*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОСАДКА ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

*A.A. Utombaeva, T.V. Kuznetsova, A.A. Vershinin,
E.R. Zainulgabidinov, A.M. Petrov*

EFFICIENCY OF APPLICATION OF MUNICIPAL WASTEWATER SLUDGE DURING RECLAMATION OF OILY GRAY FOREST SOIL

Аннотация. В условиях модельного эксперимента изучено влияние гранулированного осадка городских сточных вод на характеристики рекультивируемой серой лесной среднесуглинистой почвы с разным уровнем нефтяного загрязнения. Представлены основные физико-химические и микробиологические характеристики осадка сточных вод, сведения о содержании биогенных элементов, токсичности и эффективности деструкции нефтепродуктов в инкубируемых с гранулятом и без него почвенных образцах при разных подходах к рекультивации. Внесение гранулята осадков сточных вод в нефтезагрязненную серую лесную среднесуглинистую почву обогащает микробный пул, приводит к увеличению содержания углерода микробной массы. Дополнительное внесение с гранулированным осадком сточных вод биогенных элементов повышает устойчивость микробоценозов к поллютанту, сокращает сроки восстановления свойств и плодородия нефтезагрязненной почвы. Показано, что внесение в почвенные образцы, содержащие 2,7–19,7 г/кг нефтепродуктов гранулированного осадка сточных вод из расчета 10 т/га приводит к 1,7–2,5-кратной интенсификации деструкционных процессов, снижает токсическое действие поллютанта, что указывает на возможность его эффективного использования при рекультивации нефтезагрязненных почв.

Ключевые слова: осадки сточных вод; почва; нефтепродукты; рекультивация; токсичность; растения; микробный пул; биогенные элементы.

Сведения об авторах: Утомбаева Алина Александровна, ORCID: 0000-0002-7407-9108, мл. науч. сотр., Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, semionova.alin@yandex.ru; Кузнецова Татьяна Васильевна ORCID: 0000-0001-7346-6221, науч. сотр. Институт проблем экологии и

Abstract. Under the conditions of a model experiment, the effect of granular sludge of urban wastewater on the characteristics of reclaimed gray forest medium-carbonaceous soil with different levels of oil pollution was studied. The main physicochemical and microbiological characteristics of wastewater sludge, information on the content of biogenic elements, toxicity and efficiency of petroleum products destruction in soil samples incubated with and without granulate under different approaches to reclamation are presented. The introduction of granulate of wastewater sludge into oily gray forest medium-carbonaceous soil enriches the microbial pool, leads to an increase in the carbon content of the microbial mass. The additional introduction of biogenic elements with granular sediment of wastewater increases the resistance of microbocenoses to pollutant, reduces the time for restoration of properties and fertility of oily soil. It has been shown that the introduction of granular sewage sludge into soil samples containing 2.7–19.7 g/kg of petroleum products at the rate of 10 t/ha leads to 1.7–2.5-fold intensification of destruction processes, reduces the toxic effect of the pollutant, which indicates the possibility of its effective use in the reclamation of oily soils.

Keywords: sewage sludge; soil; petroleum products; reclamation; toxicity; plants; microbial pool; biogenic elements.

About the authors: Alina A. Utombaeva, ORCID: 0000-0002-7407-9108, junior researcher for the Laboratory of Ecological Biotechnologies Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, semionova.alin@yandex.ru; Tatyana V. Kuznetsova, ORCID:0000-0001-7346-6221, researcher for the Laboratory of Ecological Biotechnologies Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences(SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, kuznetsovatatyana@mail.ru; Anatoly A. Vershinin, ORCID: 0000-0002-1807-5727, Candidate of Biological Sciences, senior researcher for the

недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, kuznetsovatatyana@mail.ru; Вершинин Анатолий Андреевич, ORCID: 0000-0002-1807-5727, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, A-vershinin@mail.ru; Зайнулгабидинов Эрик Ренатович, ORCID: 0000-0002-5372-9984, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, comp05@mail.ru; Петров Андрей Михайлович, ORCID: 0000-0002-5117-2609, канд. биол. наук, зав. лаб., Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан (ИПЭН АН РТ), г. Казань, Россия, zpm2@rambler.ru

Laboratory of Ecological Biotechnologies Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, A-vershinin@mail.ru; Erik R. Zainulgabidinov, ORCID: 0000-0002-5372-9984, Candidate of Biological Sciences, senior researcher for the Laboratory of Ecological Biotechnologies Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, comp05@mail.ru.; Andrey M. Petrov, ORCID: 0000-0002-5117-2609 Candidate of Biological Sciences, Head for the Laboratory of Ecological Biotechnologies Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences (SBE IPEM TAS), Kazan, Russia, zpm2@rambler.ru

Утомбаева А.А., Кузнецова Т.В., Вершинин А.А., Зайнулгабидинов Э.Р., Петров А.М. Эффективность применения осадка городских сточных вод при рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2023. № 3(63). С. 113-126. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/10>

Utombaeva, A.A., Kuznetsova, T.V., Vershinin, A.A., Zainulgabidinov, E.R., & Petrov, A.M. (2023). Efficiency of Application of Municipal Wastewater Sludge During Reclamation of Oily Gray Forest Soil. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, (3(63)), 113-126. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3/10>

Несмотря на попытки всемирного развития «зеленой энергетики», потребление нефти и продуктов ее трансформации в качестве топлива и ресурса для нефтехимической и химической промышленности не только не сокращается, но и увеличивается. В процессе добычи, транспортировки и хранения нефтепродуктов (НП) происходят их аварийные и технологические разливы, что приводит к загрязнению окружающей среды. Вопросы, касающиеся восстановления нефтезагрязненных земель, поднимаются давно, но до сих пор не потеряли своей актуальности. В настоящее время методы биологической рекультивации рассматриваются как наиболее перспективные. Относительно традиционных физико-химических методов почвенной ремедиации во многих случаях эти методы являются наиболее дешевыми и эффективными.

Усмановым с соавторами в процессе исследовательских работ было установлено, что загрязнение почвы нефтью и нефтепродуктами приводит к изменению скорости роста и развития растений [19], показано, что высокие концентрации нефтепродуктов приводят к замедлению развития или гибели растений, что связано с нарушениями водного обмена, затруднением поступления питательных веществ, кислородным голоданием [18].

Загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами требует проведения комплекса рекультивационных мероприятий, направленных на восстановления свойств и плодородия почв, скорейшее возвращение в хозяйственную деятельность земельных ресурсов.

Рекультивационные мероприятия наряду с приемами технической рекультивации, могут включать внесение повышающих окислительную активность почвенных микроорганизмов органических и минеральных удобрений, посадку растений, обогащение почвы специально селекционированными микробными комплексами, другие направленные на интенсификацию деструкционных процессов в нефтезагрязненной почве приемы. Проведение восстановительных, в том числе фиторекультивационных мероприятий, повышает скорость окисления поллютанта, интенсивность процессов восстановления свойств нефтезагрязненных почв [10; 13]. Фиторемедиация включает весь спектр метаболических процессов по поглощению, аккумуляции и разложению поллютантов, обеспечивает стабильное протекание процесса биологического распада углеводов при относительно невысокой стоимости затрат, не требует снятия плодородного слоя почвы, может применяться на больших площадях. Развитие корневой системы растений улучшает газообмен в глубинных слоях почвы, способствует развитию нефтеокисляющей микробиоты в естественной среде [13].

Рост численности населения крупных городов России приводит к увеличению, образующихся в процессе очистки сточных вод опасных для окружающей среды и здоровья человека осадков, что требует поиска путей их безопасной утилизации.

Во многих странах мира практикуется внесение осадков городских сточных вод (ОСВ) в почву в качестве удобрения, поскольку они содержат большое количество азота, фосфора и других веществ, необходимых для питания растений, богаты органическими веществами [15; 17].

Однако вносить в почву необработанные осадки сточных вод следует с осторожностью. Всегда существует опасность загрязнения грунтовых вод и почв тяжелыми металлами, патогенной микрофлорой, яйцами гельминтов, дурно пахнущими веществами, которые имеются в составе осадков и илов [2; 17].

Невозможность прямого вторичного использования содержащих биологически доступное органическое вещество и биогенные элементы ОСВ определяется необходимостью их предварительного обеззараживания. Термомеханическая обработка осадков решает данную проблему, что позволяет рассматривать обработанный осадок как гранулированный продукт, который может быть использован при рекультивации загрязненных и деградированных почв, в качестве органо-минерального удобрения. Правильное применение ОСВ в качестве комплексных органо-минеральных удобрений, богатых азотом, фосфором и калием позволяет рентабельно повышать плодородие исходно бедных почв и урожайность культур [1].

Цель исследования – изучить влияние внесения гранулированного осадка городских сточных вод на характеристики серой лесной среднесуглинистой почвы в зависимости от уровня нефтяного загрязнения и выбранного подхода к рекультивации.

В эксперименте использовали серую лесную среднесуглинистую почву имеющую следующие характеристики: гумус – 4,4%; органическое вещество – 2,8%; $pH_{\text{вод}}$ – 6,25; $P(P_2O_5)_{\text{подв}}$ – 10,3 мг/100 г; $K(K_2O)_{\text{подв}}$ – 8,1 мг/100 г; $N_{\text{вал}}$ – 0,21%.

Почвы были искусственно загрязнены парафинистой, сернистой смолистого типа нефтью Ямашинского месторождения. Содержание НП в исходных опытных образцах составляло: 2,7 г/кг; 6,1 г/кг; 14,4 г/кг; 19,7 г/кг в вариантах В1, В2, В3, В4, соответственно.

С целью изучения возможности интенсификации процессов восстановления свойств нефтезагрязненной почвы в работе был использован термомеханически обработанный ОСВ МУП «Водоканал» г. Казани в виде достаточно устойчивого к влаге гранулята (далее «Гранулят»).

Гранулят характеризуется высоким содержанием биологически доступных органических веществ (табл. 1), отсутствием гельминтов и патогенной микрофлоры [22] и фактически является комплексным органо-минеральным удобрением, с потенциальной возможностью стимуляции почвенных микробиологических процессов [12].

Таблица 1

Основные характеристики гранулята ОСВ

Влажность, %	Орг. в-во, %	Зольность, %	N _{общ.} , %	P _{общ.} , %	K _{общ.} , %	P _{подв.} , мг/кг	pH _{сол.}	Класс опасности
6,3	60,4	39,6	3,0	1,5	0,18	2000	6,2	IV

Проведенный эксперимент включал три параллельных опыта, в которых исследовались (табл. 2):

- чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы без гранулята (опыт Т);
- чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы, содержащие гранулят из расчета 10 т/га (опыт М);
- чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы, содержащие гранулят из расчета 10 т/га в которые была посажена смесь растений (опыт Ф).

Проводимые опыты условно обозначены: Т – техническая рекультивация; М – микробиологическая рекультивация; Ф – фито-микробиологическая рекультивация.

В опыте Т контролем (К) служила чистая почва, в опытах М и Ф чистая почва с гранулятом.

Таблица 2

Варианты опытов

Т	М	Ф
Чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы	Чистые и загрязненные нефтью почвенные образцы, содержащие гранулят из расчета 10 т/га	
42 суточная инкубация в условиях перемешивания и увлажнения	42 суточная инкубация в условиях перемешивания и увлажнения	42 суточное культивирование растений в условиях увлажнения

В эксперименте в качестве опытных емкостей использовали пластиковые горшки диаметром 11 см и объемом 550 мл, содержащие по 400 г почвы. Количество повторностей в каждом варианте – 3. Инкубирование почв проводили в лабораторных условиях в течение 6 недель при температуре 19–25°C, влажности 20–25%, 16-часовом освещении фитолампами с интенсивностью 4000 люкс. Пробы Т и М в ходе эксперимента периодически перемешивались.

Выбор растений для лабораторно-вегетационного опыта определялся результатами ранее проведенных исследований [20]. В опыте Ф была использована смесь из двух растений: однодольного – рожь посевная (*Secale cereale L.*) и двудольного – вика посевная (*Vicia sativa L.*), которые высевали в почвенные образцы в соотношении 1:1 (6 + 6 растений). Местоположение вегетационных сосудов ежедневно меняли. Через 14 суток инкубации в каждой емкости оставляли по 6 растений (3 + 3). На 42 сутки эксперимента растения аккуратно удаляли, а почвенные образцы анализировали.

Качественный и количественный состав микроорганизмов изучали методом посева почвенной суспензии на диагностические среды с использованием общепринятых методов [9]. Содержание углерода микробной биомассы (Смик) определяли согласно [3–5].

Определение содержания валовых форм азота и фосфора проводили по [14], подвижного фосфора по ГОСТ 26204-91 [6]. Содержание НП в почве определяли ИК-спектрофотометрическим методом на анализаторе КН-2м [16]. Определение острого токсического действия проводили согласно ФР.1.39.2006.02264 [21] на трех тест-растениях: пшеница обыкновенная (*Triticum vulgare L.*); рожь посевная (*Secale cereale L.*); вика посевная (*Vicia sativa L.*).

Режим термомеханической обработки ОСВ МУП «Водоканал» г. Казани обеспечивает получение гранулята, характеристики которого не ограничивают возможность его использования в качестве удобрения под зерновые, зернобобовые, зернофуражные и технические культуры, в промышленном цветоводстве, зеленом строительстве, лесных и декоративных питомниках, для биологической рекультивации нарушенных земель и полигонов ТБО [7; 8; 22].

Гранулят ОСВ содержит необходимые для развития растений и почвенных микроорганизмов органические вещества и биогенные элементы [11], что существенно повышает ценность получаемого продукта (табл. 1), содержит широкий перечень микроорганизмов, способных обогатить микробиоценозы нарушенных в ходе сельскохозяйственной деятельности, при антропогенном и техногенном воздействии земель (табл. 3).

Таблица 3

Микробиологические характеристики гранулята ОСВ

Микроорганизмы	Количество, КОЕ/г абс. сух. массы
Гетеротрофные	$1 \cdot 10^9$
Углеводородокисляющие	$29.5 \cdot 10^6$
Актиномицеты	$4.9 \cdot 10^7$
Микромицеты	≤ 100
Бактерии, утилизирующие минеральный азот	$1.0 \cdot 10^8$
Целлюлозоразрушающие	$0.5 \cdot 10^4$
Нитрификаторы	1

Начальное содержание (Н) углерода микробной массы (Смик) в образцах серой лесной почвы практически линейно зависело от дозы внесенной нефти (рис. 1). Начальное содержание Смик в почвенных образцах с гранулятом достоверно не отличалось от образцов без гранулята.

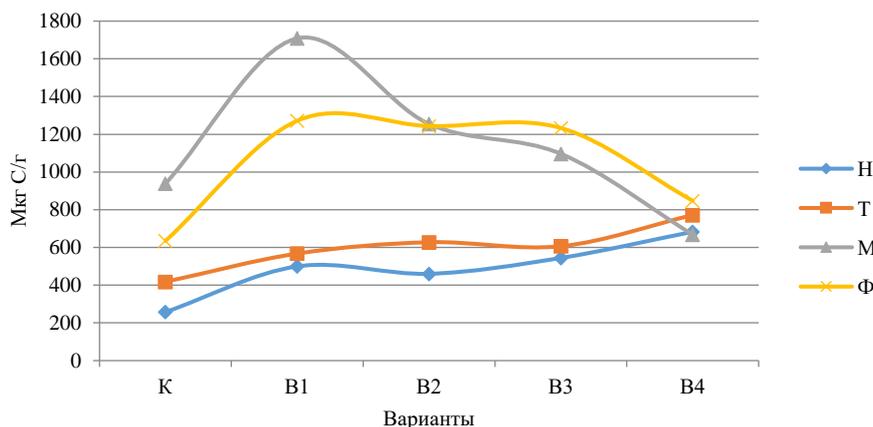


Рис. 1. Содержание углерода микробной биомассы в зависимости от концентрации поллютанта и подхода к рекультивации серой лесной почвы

Инкубирование почвенных образцов опыта Т не привело к значительному росту Смик, содержание которого также линейно зависело от дозы, исходно внесенной в почвенные образцы нефти.

В отличие от опыта с технической рекультивацией, в опыте М максимальное содержание Смик была зарегистрировано в варианте с минимальной испытанной концентрацией поллютанта (В1), с последующим снижением значений Смик по мере увеличения содержания НП в почве. В вариантах В1–В3 опыта Ф содержание Смик имело близкие значения. В вариантах В4 во всех опытах концентрация Смик отличалась незначительно.

Инкубация нефтезагрязненных образцов приводила к увеличению численности большинства исследованных групп микроорганизмов, однако в опытах с гранулятом она была выше, чем в образцах без гранулята (табл. 4). Гранулят ингибировал рост бактерий, утилизирующих минеральный азот (БУМА), стимулировал развитие гетеротрофных (ОМЧ), углеводородокисляющих (УОМ), целлюлозоразрушающих (ЦР) микроорганизмов и нитрификаторов, численность последних в вариантах В1 и В2 опыта М была в десятки, а опыта Ф в сотни раз выше, чем в опыте без гранулята. В вариантах с максимальным содержанием поллютанта (В4) влияние гранулята на микробный пул в опытах нивелируется.

Таблица 4

Изменение численности микроорганизмов в нефтезагрязненных образцах с гранулятом и без после их 42 суточного инкубирования (кратность относительно начального содержания, раз)

Группы микроорганизмов	Варианты											
	В1			В2			В3			В4		
	Т	М	Ф	Т	М	Ф	Т	М	Ф	Т	М	Ф
ОМЧ	2,3	5,4	6,1	0,9	3,2	2,6	1,5	3,7	3,0	1,1	1,1	1,2
УОМ	2,0	2,0	4,4	1,6	2,1	2,5	1,2	2,3	1,6	1,7	1,2	2,2
Актиномицеты	1,2	0,4	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,8	0,3	0,04	0,01	0,1
Микромицеты	1,2	23,6	31,1	1,1	22,8	26,3	1,3	12,7	24,5	1,1	0,9	12,7
БУМА	1,8	0,5	0,3	0,6	0,3	0,3	2,4	0,6	0,2	2,6	0,4	0,3
ЦР	1,7	7,2	9,1	0,2	3,0	3,8	0,5	2,9	4,6	0,8	0,04	1,2
Нитрификаторы	8,0	86,0	138,5	1,0	32,0	139,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Численность микроорганизмов в опытных образцах после инкубации в целом согласуется с результатами определения содержания Смик.

Учитывая роль биогенных элементов в функционировании почвенного биоценоза и деструкции поллютантов, представлялось важным проследить за изменением их содержания в процессе инкубации.

Внесение гранулята в исходную почву приводило к увеличению валового содержания азота в образцах К-В4 на 14–25%, при отсутствии корреляции между содержанием азота и НП в почве. Валовое содержание фосфора в образцах после внесения гранулята также повысилось, причем в вариантах В3 и В4 значительно, увеличение составило 59% и 39%, соответственно.

В вариантах опыта Т после инкубирования валовое содержание азота и фосфора в пробах практически не изменилось (рис. 2). Содержание $N_{вал}$ в опытах с гранулятом было закономерно выше, чем без него. Причем в большинстве образцов после культивирования растений оно было выше, чем в опыте с микробиологической рекультивацией. Валовое содержание фосфора в опытах М и Ф после инкубации было выше, чем в опыте без гранулята.

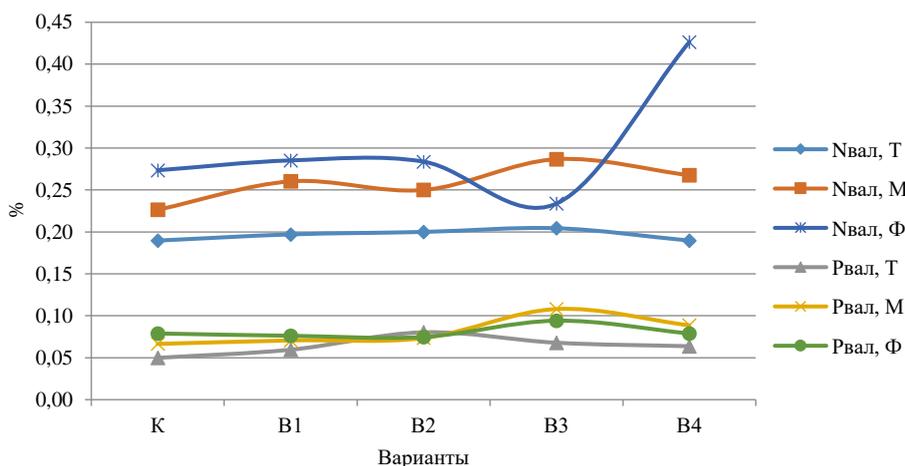


Рис. 2. Валовое содержание азота и фосфора (P_2O_5) в почвенных образцах после эксперимента

Следует отметить, что доля подвижных форм фосфора в опытах с гранулятом также была выше, чем в опыте без него (табл. 5).

Таблица 5

Доля подвижных форм фосфора в почвенных образцах после эксперимента

Варианты	Опыты		
	Т	М	Ф
К	0,07	0,11	0,10
В1	0,05	0,10	0,09
В2	0,03	0,09	0,09
В3	0,05	0,07	0,06
В4	0,04	0,09	0,10

Результаты проведенных анализов показали, что в вариантах, исходно содержащих 2,7 г/кг нефтепродуктов, эффективность их деструкции во всех опытах имела близкие значения.



При более высоких концентрациях загрязнителя в присутствии гранулята интенсивность разложения НП была в 1,7–2,5 раза выше (рис. 3). В опыте Ф, в отсутствие перемешивания почвы в вариантах В3 и В4 скорость разложения загрязнителя была ниже, чем в опыте М.

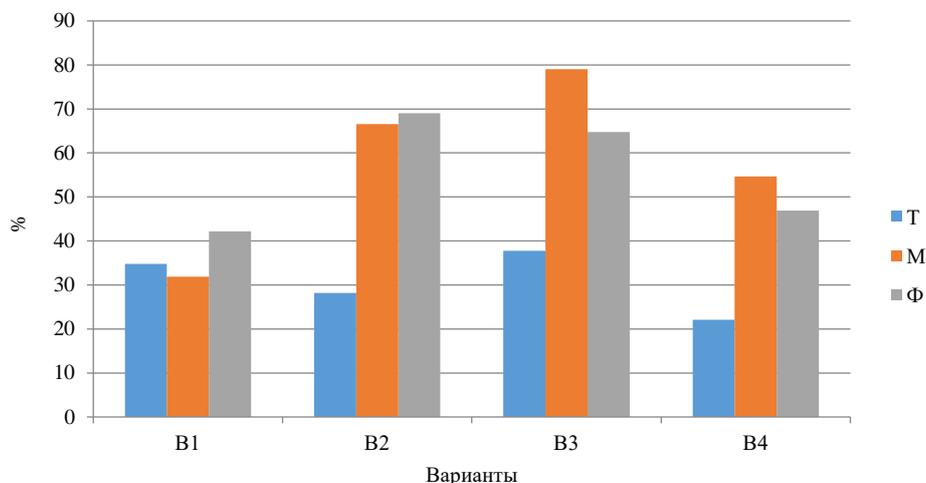


Рис. 3. Эффективность деструкции нефтепродуктов при разных подходах к рекультивации серой лесной почвы

Наряду со снижением содержания НП во всех опытах наблюдалось уменьшение токсичности по отношению ко ржи посевной и вике посевной (рис. 4, 5). После инкубирования все варианты опыта Ф были не токсичны для ржи посевной, при этом в вариантах В1 и В2 наблюдалась стимуляция роста корней (рис. 4). Хотя конечное содержание нефтепродуктов в опытах с микробиологической и фито-микробиологической рекультивацией сопоставимо, в вариантах В3 и В4 опыта М сохраняется токсическое действие загрязнителя на растения (фитозффект более 20%). В опыте без гранулята (Т) в вариантах В2-В4 зарегистрировано острое токсическое действие на рожь посевную.

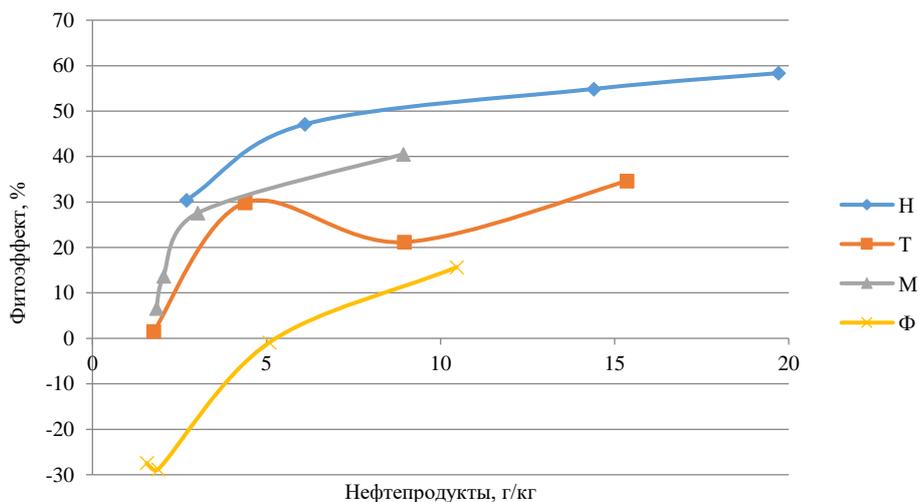


Рис. 4. Влияние остаточного содержания нефтепродуктов на рост корней ржи посевной (Н – токсичность нефтезагрязненных проб до инкубирования)

После инкубации незначительная токсичность для вики посевной проявлялась в варианте В3 опыта Т и варианте В4 опыта Ф. При микробиологической рекультивации варианты В1 и В2 оказывали стимулирующее действие на рост корней вики, а в остальных вариантах опыта токсичность отсутствовала (рис. 5).

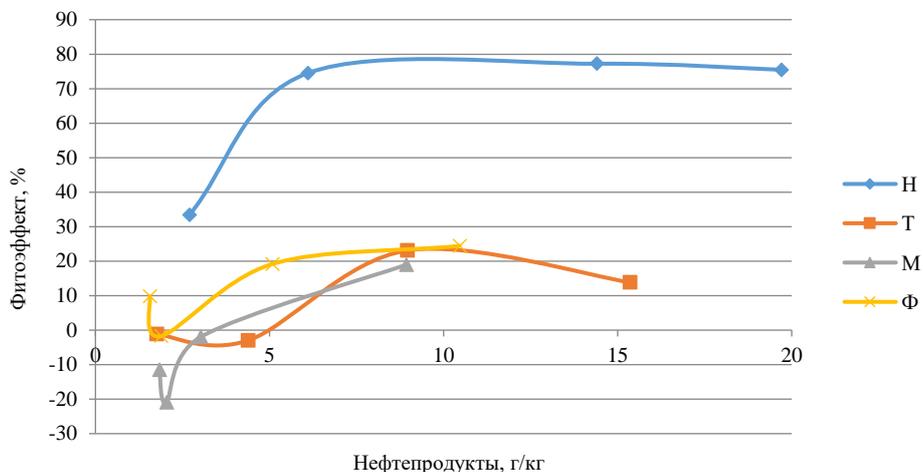


Рис. 5. Влияние остаточного содержания нефтепродуктов на рост корней вики посевной

Хотя исходные загрязненные нефтью образцы для пшеницы обыкновенной были менее токсичны, чем для ржи и вики, после инкубации большинство почвенных образцов ингибировали рост корней пшеницы, причем токсичность в вариантах В2-В4 опыта М, была выше, чем вредное воздействие исходных нефтезагрязненных образцов (рис. 6).

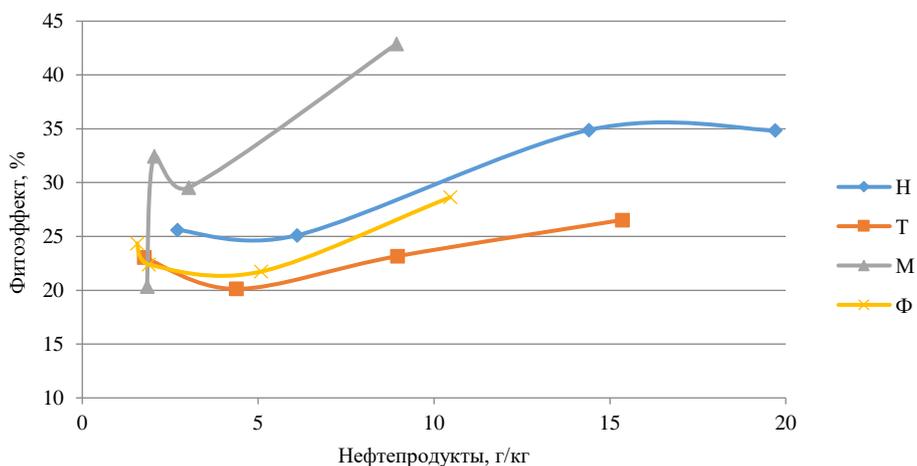


Рис. 6. Влияние остаточного содержания нефтепродуктов на рост корней пшеницы обыкновенной

Полученные результаты еще раз подтверждают более высокую устойчивость ржи и вики посевных в сравнении с пшеницей обыкновенной к токсичному действию нефти и продуктов ее трансформации [20].

1. Проведенные исследования показали, что внесение гранулята осадков сточных вод в нефтезагрязненную серую лесную среднесуглинистую почву обогащает микробный пул, приводит к увеличению содержания углерода микробной массы.

2. Дополнительное внесение с гранулированным осадком сточных вод биогенных элементов повышает устойчивость микробоценозов к поллютанту, сокращает сроки восстановления свойств и плодородия нефтезагрязненной почвы.

3. В присутствии гранулята интенсифицируются процессы окисления содержащихся в почве нефтепродуктов, эффективность деструкции которых определяется, как их концентрацией, так и выбранным подходом к биологической рекультивации.

4. Сопоставление токсичности почвенных образцов с разным уровнем нефтяного загрязнения после технической, микробиологической и фито-микробиологической рекультивации показало, что ответная реакция на остаточное содержание поллютанта зависит от вида, выбранного в качестве тест-объекта растения.

5. Результаты проведенных опытов позволяют выбрать наиболее экономически и экологически эффективную технологию рекультивации почв при разных уровнях их нефтяного загрязнения.

6. Использование осадков сточных вод городских очистных сооружений в виде гранулированного продукта позволит утилизировать опасный для окружающей среды отход, снизить затраты и получить дополнительный экологический эффект при рекультивации нефтезагрязненных почв.

Литература

1. Бадарч Б., Васенев И.И., Сюняев Н.К. Агроэкологическая оценка последствий применения осадка сточных вод на дерново-подзолистые почвы легкого гранулометрического состава // Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах / Материалы международной научно-практической конференции (Нижний Новгород, 11-12 декабря 2014 г.). 2014. С. 34–37.

2. Буренков С.В., Грачев А.Н., Забелкин С.А. Термическая утилизация иловых осадков сточных вод методом быстрого пиролиза в сеточном реакторе // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 22. С. 40–43.

3. Вершинин А.А., Каримуллин Л.К., Петров А.М., Кузнецова Т.В. Влияние фиторекультивационных мероприятий на активность микробного сообществанефтезагрязненной аллювиальной дерновой почвы // Российский журнал прикладной экологии. 2021. №1. С. 52–57.

4. Вершинин А.А., Каримуллин Л.К., Утомбаева А.А., Петров А.М. Микробный углерод серых лесных почв в условиях длительного нефтяного загрязнения // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 2. С. 47–55. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.2.47.55>

5. Вершинин А.А., Петров А.М., Каримуллин Л.К., Шурмина Н.В. Культивирование высших растений и дыхательная активность нефтезагрязненных почв // *Российский журнал прикладной экологии*. 2016. №3. С. 46–51.

6. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО: утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 29.12.91 № 2389: дата введения 01.07.93

7. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений.

8. ГОСТ Р 54651-2011. Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия.

9. Егоров Н.С. Руководство к практическим занятиям по микробиологии. М.: Изд-во МГУ, 1995. 224 с.

10. Зайнулгабидинов Э.Р., Игнатьев Ю.А., Петров А.М. Влияние фиторемедиации на профиль углеводов нефти в аллювиальных дерновых почвах // *Российский журнал прикладной экологии*. 2021. №2. С. 53–60.

11. Исследование и оценка физико-химических, токсикологических и микробиологических характеристик гранулята – термически обработанного илового осадка биологических очистных сооружений канализации и научное обоснование направлений его утилизации» / Отчет Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан. Казань, 2022. 23 с.

12. Каримуллин Л.К., Петров А.М., Вершинин А.А., Князев И.В. Ферментативная активность серой лесной почвы после внесения гранулята осадка городских сточных вод // «Химия и инженерная экология – XXII». Сборник трудов международной научной конференции (школа молодых ученых), посвященной 90-летию кафедры общей химии и экологии Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ (Казань, 23-24 сентября 2022 г). 2022. С. 220–223.

13. Киреева Н.А., Новоселова Е.И., Шамаева А.А., Григориади А.С. Биологическая активность чернозема выщелоченного, загрязненного продуктами сгорания попутного нефтяного газа, и возможности ее восстановления при фиторемедиации // *Почвоведение*. 2009. №4. С. 498–503.

14. Мещеряков А.М. Разложение почв серной и хлорной кислотами для определения азота и фосфора // *Почвоведение*. 1963. № 5. С. 21–30.

15. Плеханова И.О. Степень самоочищения агродерново-подзолистых супесчаных почв, удобренных осадком сточных вод // *Почвоведение*, 2017. №4. С. 506–512. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17040086>

16. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектromетрии.

17. Рэуце К., Кырстя С. Борьба с загрязнением почвы. М.: Агропромиздат, 1986. 221 с.

18. Усманов И.Ю., Овечкина Е.С., Шаяхметова Р.И. Распространение влияния нефтяного шлама // Вестник Нижневарттовского гос. ун-та. 2015. №3. С. 84–94.

19. Усманов И.Ю., Овечкина Е.С., Юмагулова Э.Р., Иванов В.Б., Щербаков А.В., Шаяхметова Р.И. Проблемы самовосстановления экосистем Среднего Приобья при антропогенных воздействиях нефтедобывающего комплекса // Вестник Нижневарттовского гос. ун-та. 2015. №1. С. 79–86.

20. Утомбаева А.А., Зайнулгабидинов Э.Р., Кузнецова Т.В., Петров А.М. Скрининг растений для фиторемедиации нефтезагрязненных почв // Российский журнал прикладной экологии, 2022. №1. С. 68–75. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.1.68.75>

21. ФР.1.39.2006.02264 Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв.

22. Экологический сертификат соответствия № RA.RU.11HA15.П.00114 «Удобрение органическое гранулированное на основе осадков сточных вод, изготавливаемое серийно по ТУ 37.00.20-001-03317648-2022 на очистных сооружениях канализации г. Казани». Выдано ООО «БИФАР-Экология» срок действия 16.08.2022–15.08.2025 г.

References

1. Badarch. B., Vasenev. I.I., & Syunyaev. N.K. (2014). Agroe`kologicheskaya ocenka posledejstviya primeneniya osadka stochny`x vod na dernovo-podzolisty`e pochvy` legkogo granulometricheskogo sostava. *Perspektivy` i problemy` razmeshheniya otxodov proizvodstva i potrebleniya v agroekosistemax*. Materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Nizhnij Novgorod, 11-12 dekabrya 2014 g.), 34-37. (in Russ.).

2. Burenkov, S.V., Grachev, A.N., & Zabelkin, S.A. (2016). Termicheskaya utilizaciya ilovy`x osadkov stochny`x vod metodom by`strogo piroliza v setochnom reaktore. *Vestnik texnologicheskogo universiteta*, vol. 19, 22, 40-43. (in Russ.).

3. Vershinin, A.A., Karimullin, L.K., Petrov, A.M., & Kuzneczova, T.V. (2021). Vliyanie fitorekul`tivacionny`x meropriyatij na aktivnost` mikrobnogo soobshhestvaneftezagryaznennoj allyuvial`noj dernovoj pochvy`. *Rossijskij zhurnal prikladnoj e`kologii*, №1, 52-57. (in Russ.).

4. Vershinin, A.A., Karimullin, L.K., Utombaeva, A.A., & Petrov, A.M. (2022). Mikrobny`j uglerod sery`x lesny`x pochv v usloviyax dlitel`nogo neftyanogo zagryazneniya. *Rossijskij zhurnal prikladnoj e`kologii*, 2, 47-55. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.2.47.55> (in Russ.).

5. Vershinin, A.A., Petrov, A.M., Karimullin, L.K., & Shurmina, N.V. (2016). Kul`tivirovanie vy`sshix rastenij i dy`xatel`naya aktivnost` neftezagryaznenny`x pochv. *Rossijskij zhurnal prikladnoj e`kologii*, 3, 46-51. (in Russ.).

6. GOST 26204-91. Pochvy`. Opredelenie podvizhny`x soedinenij fosfora i kaliya po metodu Chirikova v modifikacii CINA0: utverzhden i vveden v dejstvie Postanovleniem Komiteta standartizacii i metrologii SSSR ot 29.12.91 № 2389: data vvedeniya 01.07.93 (in Russ.).

7. GOST R 17.4.3.07-2001. Oхрана природы`. Pochvy`. Trebovaniya k svojstvam osadkov stochny`x vod pri ispol`zovanii ix v kachestve udobrenij. (in Russ.).

8. GOST R 54651-2011. Udobreniya organicheskie na osnove osadkov stochny`x vod. Texnicheskie usloviya. (in Russ.).

9. Egorov, N.S. (1995). Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po mikrobiologii. M.: Izd-vo MGU, 224. (in Russ.).

10. Zajnulgabidinov, E`.R., Ignat`ev, Yu.A., & Petrov, A.M. (2021). Vliyanie fitoremediacii na profil` uglevodorodov nefti v allyuvial`ny`x dernovy`x pochvax. *Rossijskij zhurnal prikladnoj e`kologii*, 2, 53-60. (in Russ.).

11. Issledovanie i ocenka fiziko-ximicheskix, toksikologicheskix i mikrobiologicheskix xarakteristik granulyata – termicheski obrabotannogo ilovogo osadka biologicheskix ochistny`x sooruzhenij kanalizacii i nauchnoe obosnovanie napravlenij ego utilizacii» / Otchet Institut problem e`kologii i nedropol`zovaniya Akademii nauk Respubliki Tatarstan. Kazan`, 2022. 23. (in Russ.).

12. Karimullin, L.K., Petrov, A.M., Vershinin, A.A., & Knyazev, I.V. (2022). Fermentativnaya aktivnost` seroj lesnoj pochvy` posle vneseniya granulyata osadka gorodskix stochny`x vod. *Ximiya i inzhenernaya e`kologiya – XXII*. Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (shkola molody`x ucheny`x), posvyashhennoj 90-letiyu kafedry` obshhej ximii i e`kologii Kazanskogo nacional`nogo issledovatel`skogo texnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva – KAI (Kazan`, 23-24 sentyabrya 2022 g). 220-223. (in Russ.).

13. Kireeva, N.A., Novoselova, E.I., Shamaeva, A.A., & Grigoriadi, A.S. (2009). Biologicheskaya aktivnost` chernozema vy`shhelochennogo, zagryaznennogo produktami sgoraniya poputnogo neftyanogo gaza, i vozmozhnosti ee vosstanovleniya pri fitoremediacii. *Pochvovedenie*, 4, 498-503. (in Russ.).

14. Meshheryakov, A.M. (1963). Razlozhenie pochv sernoj i xlornoj kislotami dlya opredeleniya azota i fosfora. *Pochvovedenie*, 5, 21-30. (in Russ.).

15. Plexanova, I.O. (2017). Stepen` samoochishheniya agrodernovo-podzolisty`x supeschany`x pochv, udobrenny`x osadkom stochny`x vod. *Pochvovedenie*, 4, 506-512. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17040086> (in Russ.).

16. PND F 16.1:2.2.22-98 Kolichestvenny`j ximicheskij analiz pochv. Metodika vy`polneniya izmerenij massovoj doli nefteproduktov v mineral`ny`x, organogenny`x, organo-mineral`ny`x pochvax i donny`x otlozheniyax metodom IK-spektrometrii. (in Russ.).

17. Re`uce, K., & Ky`rstya, S. (1986). Bor`ba s zagryazneniem pochvy`. M.: Agropromizdat, 221. (in Russ.).

18. Usmanov, I.Yu., Ovechkina, E.S., & Shayaxmetova, R.I. (2015). Rasprostranenie vliyaniya neftyanogo shlama. *Vestnik Nizhnevartovskogo gos. un-ta*, 3, 84-94. (in Russ.).

19. Usmanov, I.Yu., Ovechkina, E.S., Yumagulova, E`.R., Ivanov, V.B., Shherbakov, A.V., & Shayaxmetova, R.I. (2015). Problemy` samovosstanovleniya e`kosistem Srednego Priob`ya pri antropogenny`x vozdeystviyax neftedoby`vayushhego kompleksa. *Vestnik Nizhnevartovskogo gos. un-ta*, 1, 79-86. (in Russ.).

20. Utombaeva, A.A., Zajnulgabidinov, E`.R., Kuznecova, T.V., & Petrov, A.M. (2022). Ckrining rastenij dlya fitoremediacii neftezagryaznenny`x pochv. *Rossijskij zhurnal prikladnoj e`kologii*, 1, 68-75. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.1.68.75> (in Russ.).

21. FR.1.39.2006.02264 Metodika vy`polneniya izmerenij vsxozhesti semyan i dliny` kornej prorostkov vy`sshix rastenij dlya opredeleniya toksichnosti texnogenno zagryaznenny`x pochv. (in Russ.).

22. E`kologicheskij sertifikat sootvetstviya № RA.RU.11NA15.P.00114 «Udobrenie organicheskoe granulirovannoe na osnove osadkov stochny`x vod, izgotavlivaemoe serijno po TU 37.00.20-001-03317648-2022 na ochistny`x sooruzheniyax kanalizacii g. Kazani». Vy`dano ООО «BIFAR-E`kologiya» srok dejstviya 16.08.2022–15.08.2025 g. (in Russ.).

Дата поступления: 13.03.2023

Дата принятия: 06.09.2023

© Утомбаева А.А., Кузнецова Т.В., Вершинин А.А.,
Зайнулгабидинов Э.Р., Петров А.М., 2023